



## ANALISA KINERJA BOILER INDUSTRI SETELAH BEROPERASI 24 TAHUN

Sumadi<sup>1\*</sup>, Budi Hartono<sup>1</sup>, Roy Waluyo<sup>1</sup>, Setya Permana Sutisna<sup>1</sup>, Edi Sutoyo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Ibn Khaldun Bogor, Indonesia, 1661

### ABSTRAK

Pada saat ini banyak *boiler* di beberapa industri yang beroperasi dengan tingkat kinerja yang rendah, meskipun kini *boiler* yang mutakhir mampu beroperasi dengan kinerjanya yang baik sesuai kapasitas rancangannya. Kinerja sebuah *boiler* biasanya ditandai dengan indikator tingkat penurunan energi panas yang dihasilkan. Salah satu indikatornya adalah efisiensi. Penurunan energi panas sebuah *boiler* industri dari kapasitas rancangannya maka dikatakan *boiler* tersebut mengalami penurunan efisiensi. Penurunan efisiensi akan sangat berpengaruh terhadap kualitas produk, disamping itu juga akan meningkatkan biaya produksi sebagai akibat tingginya pemakaian bahan bakar. Penurunan efisiensi *boiler* ini disebabkan oleh beberapa hal, diantaranya adalah disebabkan oleh kualitas air pengisi *boiler*, dan rendahnya kualitas bahan bakar dan kinerja *equipment* pendukung *boiler*, seperti *fan draft*, *feed water pump* dan lain-lain. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui faktor penyebab turunnya kinerja *boiler* setelah beroperasi 24 tahun. Pada penelitian ini telah dilakukan pengecekan kualitas air pengisi dan kualitas bahan bakar yang digunakan serta *equipment boiler* seperti (*fan draft*, *feed water pump*, *system* pembakaran). Dari data dan hasil analisa, ditemukan penyebab turunnya kinerja *boiler* adalah buruknya kualitas air pengisi, rendahnya kualitas bahan bakar yang digunakan, serta turunnya kinerja *equipment boiler* seperti *fan draft*, *feed water pump*, sistem pembakaran, serta sumberdaya manusia.

**Kata kunci :** boiler; kinerja; efisiensi; industri; kualitas; peralatan

### ABSTRACT

*At this time many boilers in several industries operate with low performance levels, although now the latest boilers are able to operate with good performance according to their design capacity. The performance of a boiler is usually characterized by an indicator of the level of decline in heat energy produced, this indicator is called efficiency, a decrease in the heat energy of an industrial boiler from its design capacity, it is said that the boiler has decreased efficiency, a decrease in efficiency will greatly affect product quality, besides will increase production costs as a result of high fuel consumption. This decrease in boiler efficiency is caused by several things, including the quality of boiler feed water, and the low quality of fuel and the performance of boiler support equipment, such as fan draft, feed water pump and others. This research was conducted with the aim of knowing the factors causing the decline in boiler performance to 9.85% after operating for 24 years. In this study, the quality of feed water and the quality of the fuel used, and boiler equipment such as (fan draft, feed water pump, combustion system) and the quality of human resources were checked. From the data and analysis results, the causes of the decline in boiler performance are poor quality of feed water, low quality of the fuel used, and decreased performance of boiler equipment, such as fan draft, feed water pump, combustion system, fuel quality, and human resources.*

**Keywords:** boiler; performance; efficiency; industry; quality; equipment

\* Koresponden

e-mail: [sumadi@ft.uika-bogor.ac.id](mailto:sumadi@ft.uika-bogor.ac.id)

Diterima 09 Februari 2021; Penerimaan hasil revisi 21 Juli 2021; Disetujui 05 Agustus 2021

Tersedia online September 2021

AME (Aplikasi Mekanika dan Energi): Jurnal Ilmiah Teknik Mesin © 2021

## 1. PENDAHULUAN

Ditengah persaingan antar industri yang sangat ketat saat ini, baik ditingkat nasional maupun ditingkat regional dan international terlebih ada perdagangan bebas ditingkat regional ASEAN saat ini yang disebut dengan ASEAN free Trade Area atau disingkat dengan AFTA, dimana industri nasional dihadapkan pada tantangan global, baik dari ASEAN maupun dari Eropa, hal ini menuntut industri Nasional harus menyiapkan diri gunakan menghadapi tantangan tersebut, untuk tercapainya hal ini maka , industri nasional harus mampu meningkatkan kualitas produk maupun jasa yang dihasilkan, disini lain menurunnya daya beli masyarakat terus menurun merupakan tantangan yang sangat berat bagi industri untuk bisa bertahan (survive). Salah satu cara yang sangat ampuh adalah dengan meningkat kualitas sumber daya, baik kualitas SDM dan kualitas Aset untuk pendukung produksi, serta didukung dengan manajemen yang berkualitas, sehingga diharapkan produk yang dihasilkan akan menjadi lebih berkualitas, harga kompetitif, dan delivery time yang terukur. Merupakan jawaban yang tepat dalam berbisnis dalam kondisi seperti ini.

Boiler merupakan salah satu asep pendukung proses produksi yang sangat penting dalam industr manufaktur , sala satu type boiler yang dikaji adalah seperti terlihat pada gambar 1 dibawah :



Gambar 1. Fire Tube Boiler

### Data Design Fire Tube Boiler

Merk	= Clever brook
Seri	= No L 43723
Tahun	= 1972
Output	= 48.000 Kg/hr
Design pressure	= 16 bar
Max working preasure	= 18 bar
Bahan bakar	= HSD

Banyak para engineer dan peneliti telah mengkaji kinerja boiler ini, mengingat boiler merupakan alat yang sangat vital dalam industri manufaktur, diantaranya :

Christian Tallu Karaeng, Iswandi, Firman, Muh.Nuzul,(2013);Analisa Kinerja Boiler Pada PLTU Unit 1 PT.SEMEN TONASA, pada penelitian merekan menyimpulkan kehilangan panas terbesar disebabkan oleh gas buang kering,dimana pada operasi tahun 2004, 5,59 % pada tahun 2013 menjadi 5,79%.[1]

Aditio Primayudi, Aji Nugroho (2015); Analisa Kehilangan Energi Pada Fire Tube Boiler Kapasitas 10 Ton, mereka menyimpulkan bahwa penyebab turunnya efisiensi sebesar 16,68 % disebabkan oleh pengaturan sistem kontrol bahan bakar yang tidak optimal.[2]

Hendri,Suhengki,Panji Ramadhan (2017) : Analisa Effisiensi Boiler Dengan Metode Heat Loss Sebelum dan Sesudah Overhaul PT.Indonesia Power UBP PLTU Lontar Unit 3, Pada penelitian ini mereka berpendapat 3 hal penyebab kehilangan panas pada boiler adalah, Gas buang kering, kehilangan Panas Moistur Bahan bakar dan kehilangan panas karena pembakaran hidrogen.[3]

Alfi Astra Ryanda (2018); Analisis Effisiensi Paket Boiler 34-6007-U Pada Pabrik P-IB. PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang. Pada penelitian ini mereka berkesimpulan bahwa penyebab penurunan efisiensi boiler adalah Bahan bakar[4].

Singgih Hidayanto,(2016);Analisis Performa *Water Tube Boiler* Kapasitas 115 Ton /Jam Di PT.PERTAMINA REFINERY UNIT VI Balongan Indramayu, pada penelitian ini menyimpulkan penurunan bahwa penurunan efisiensi boiler disebabkan oleh kehilangan panas radiasi.[5]

Asmudi, ; Analisa Unjuk Kerja Boiler Terhadap Terhadap Penurunan Daya Pada PLTU. PT. Indonesia Power UBP Perak, pada penelitian ini menyimpulkan penurunan daya disebabkan oleh adanya pengotoran dari bahan bakar dan Air umpan.[6]

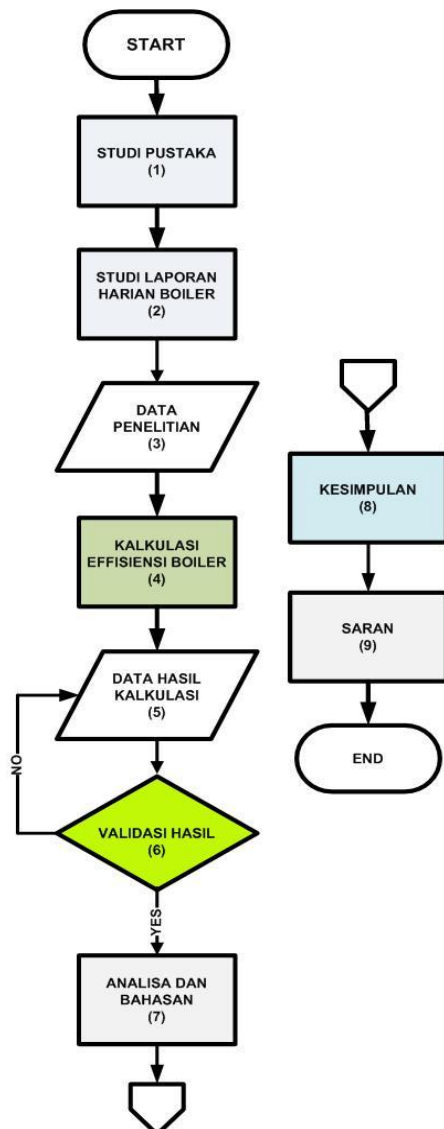
Dari penelitian diatas dapat disimpulkan bawa penyebab penurunan efisiensi boiler di pengaruhi oleh,Gas buang, sistem kontrol bahan bakar,moisture bahan bakar, hidrogen, kehilangan panas radiasi dan pengotoran.

Pada penelitian yang saya lakukan dan berdasarkan pengalaman selama 20 tahun pada pemeliharaan boiler disalah satu perusahaan industri kertas, beberapa faktor utama penyebab penurunan efisiensi bolier adalah Air pengisi boiler dengan pH yang tinggi (basa) bisa menyebabkan terjadinya endapan lumpur pada tube boiler, faktor kedua adalah kualitas bahan bakar terutama bila menggunakan bahan HSD dimana kadar air (Moisture) yang sangat tinggi, hal ini akan menyebabkan pembakaran menjadi tidak sempurna,faktor ketiga adalah Make up water ( air panas return / recyling) yang digunakan pada sebagai air tambah pada feed water tank untuk menaikkan temperatur air pengisi/ umpan, faktor ke empat adalah kinerja dari equipmen pendukung dari boiler seperti feed water pump, Fan, sand filter air

pengisi, sistem control burner dll, penurunan kinerja *equipment* akan sangat berpengaruh terhadap kinerja boiler, oleh karena itu untuk menjaganya perlu dilakukan penerapan metode pemeliharaan yang tepat seperti penerapan metode Reliability Centre Maintenance sangat diperlukan dan dilakukan secara konsisten, tentunya perlu didukung oleh SDM yang handal, Keuangan yang optimal.

## 2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini dilakukan kajian sebagai berikut dilakukan langkah-langkah sebagai berikut sesuai diagram alir pada gambar 1.



Gambar 1: Diagram Alir Penelitian

Diagram alir dapat dijelaskan sebagai berikut :

Langkah pertama adalah melakukan studi pustaka terkait fokus penelitian tentang boiler. Pada langkah ini

dilakukan kajian khusus pada refrensi secara umum termasuk standard efisiensi boiler

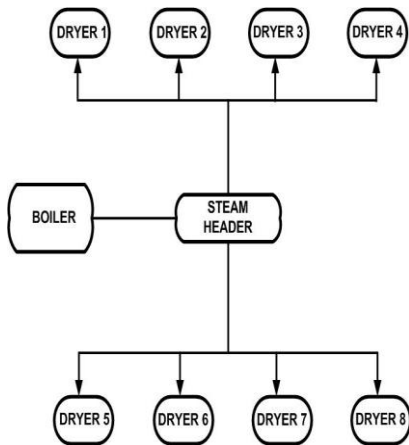
Langkah kedua melakukan kajian terhadap laporan segala aktivitas yang dilakukan terhadap pengoperasian boiler, laporan air pengisi boiler, laporan aktivitas pemeliharaan yang dilakukan pengoperasian boiler, termasuk kegiatan preventive, breakdown, dan overhaul, dilakukan juga kajian terhadap laporan kualitas bahan bakar, proses penerimaan bahan bakar dan Standard Operating procedure pengoperasian boiler.

Langkah ketiga adalah pengumpulan data -data yang didapat berdasarkan studi pustaka, dan kajian laporan aktivitas laporan harian pengoperasian boiler termasuk data kualitas air pengisi, data kegiatan maintenance, dan data kualitas bahan bakar dalam hal ini HSD (High Speed Diesel). Langkah ke empat adalah melakukan kalkulasi efisiensi boiler. Langkah kelima adalah mengumpulkan data hasil kalkulasi efisiensi boiler. Langkah keenam adalah melakukan validasi antara hasil kalkulasi efisiensi boiler dengan efisiensi boiler sesuai design pabrik kalau hasilnya tidak sesuai maka hasil yang didapat akan dilakukan kalkulasi ulang dan apabila hasil kalkulasi efisiensi boiler sesuai maka akan dilanjutkan dengan bahasan dan kesimpulan. Langkah ke tujuh adalah melakukan bahasan terhadap hasil perhitungan efisiensi yang didapat dengan faktor-faktor penyebab turunnya kinerja boiler antara lain faktor kualitas air pengisi, faktor kegiatan tindakan preventive, breakdown dan overhaule, faktor kualitas bahan bakar dan faktor prosedur pengoperasian boiler. Langkah ke delapan adalah membuat kesimpulan akhir dari kajian penelitian. Langkah ke sembilan adalah membuat saran-saran yang harus dilakukan untuk menjaga kinerja boiler tetap sesuai dengan design hal ini penting agar pihak manajemen mengetahui akar penyebab turunnya kinerja boiler, sehingga pihak manajemen bisa mengantisipasi kerusakan yang disebabkan oleh kesalahan serupa sehingga tidak berulang, tentunya kita tambahkan berdasarkan pengalaman – yang pernah didapat selama bekerja dilapangan. termasuk disarankan agar operator boiler selalu dilakukan training keahlian yang bersertifikat dengan kategori operator boiler kelas 1.

### Data Desain Boiler

Steam Cons	= 295.340 Lbs
h1 ( Enthalpi Steam)	= 1200.2 BTU
h2 (Enthalpy Feed water)	= 180.6 BTU
h3 (Blowdown water)	= 368.46 BTU
HHV NG (High HeatingValue)	= 1010.459 BTU
Natural Oil	= 347.280 ft3
Ido	= 10600 Ltr
Feed Water Ride	= 306.306 Lbs
Blowdown	= 10.876 Lbs
Effisiensi Boiler	= 81.45%

Goal Efisiensi Boiler = 80.00%



Gambar 2. Diagram Alir Distribusi Steam

Di lihat dari diagram alir distribusi boiler ini bahwa terlihat steam yang dihasilkan boiler di distribusikan ke beberapa cluster dryer dalam melakukan pengeringan produk

## STANDARD LAPORAN HARIAN BOILER

Dalam melakukan penelitian ini di dapat standar kualitas air pengisi boiler, seperti terlihat dalam Tabel 1 dibawah:

Tabel 1 Standard Laporan Harian Boiler

		LAPORAN HARIAN BOILER											
		Standard	08.00	10.00	12.00	14.00	16.00	18.00	20.00	22.00	24.00	02.00	04.00
RAW WATER	pH	6.5-7.5	6.4	6.3	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
	Hardness PPM/CaCO <sub>3</sub>	65 (max)	63	63	64	63	64	65	64	64	63	63	64
AF-SCPT	Hardness PPM/CaCO <sub>3</sub>	0											
	C.L PPM/CaCO <sub>3</sub>	20 (max)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
FEED WATER	pH	7.5-8.5	7.5	7.6	7.7	7.6	7.6	7.6	7.5	7.6	7.6	7.7	7.5
	Hardness PPM/CaCO <sub>3</sub>	0											
BOILER WATER	C.L PPM/CaCO <sub>3</sub>	40 (max)											
	Conductivity US												
CONDENSATE RETURN	pH	10.5-11.5	10	10	10	9	10	11	10	11	10.5	10	10.5
	Hardness PPM/CaCO <sub>3</sub>	0											
	P Alkalinity PPM/CaCO <sub>3</sub>	700 (max)	700	695	700	700	700	700	690	695	700	700	700
	M.D Alkalinity PPM/CaCO <sub>3</sub>	Recard											
	C.L PPM/CaCO <sub>3</sub>	40 (max)	39	39	40	40	39	39	40	39	39	40	39
	Conductivity 300 (max)												
	pH	7.5-8.0	7.6	7.6	7.6	7.6	7.5	7.5	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6
	Hardness PPM/CaCO <sub>3</sub>	0											
	Conductivity US												

Pada tabel terlihat standar pH raw water adalah 6,5-7,5, Hardness 6,5 max, pada feed water boiler didapat standar pH adalah 7,5 – 8,5 sedang hardnessnya 0, untuk boiler water pH adalah 10,5 – 11,5. Untuk P.Akalinity adalah PPM CaCO<sub>3</sub> max 700, C.L adalah 40 max, untuk conductivity US adalah 300 max.

Untuk Condensate return pH max adalah 7,5 – 8,5.

## Perhitungan Efisiensi Boiler

Konsumsi boiler = 283.05 Lbs

h1 (Entalphi steam) table fixed = 1200.2 BTU

h2 (Entalphi Feed Water) table = 180.6 BTU

h3 (Blowdown Water) Table Fixed = 368.46 BTU

HHV NG (High Heating Value) = 1010.459

Natural Oil = 347.280 ft<sup>3</sup>

Ido = 10200 Ltr

Feed Water Ride = 292.746 Lbs

Blowdown = 9.694 Lbs

Efisiensi Boiler = 71.06%

Goal Efisiensi Boiler = 80%

## Data Bahan Bakar :

- Bahan bakar menggunakan High Flow Oil (HFO) =

NHV = 46.342 kJ/kg

Karbon (C) = 61.34%

Hydrogen (H) = 13.25%

S = 1.1%

Abu (Ash) = 1.8%

Fuel Moisture (Embun pada bahan bakar) = 1%

Dry Fuel (Bahan Bakar Pengeringan) = 99%

Temperature (T) = 105%

- Udara pembakaran (Udara Kering)

Dry air (udara kering) = 21.14% O<sub>2</sub>

Temperature (T) = 72.84% N<sub>2</sub>

Moisture (embun) = 0.011  $\frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{\text{Kg Dry Air}}$

Temperature (T) = 27%

- Flue gas (Cerobong asap) komposisi = 7.2625%

Temperature (T) = 325 °C

- Residu (Abu) = 100% Ash

- Feed Water (Maximum Air) = 100% H<sub>2</sub>O = 14601

Kj/Kg

Temperature (T) = 64.135%

- Steam (Uap) = 100% H<sub>2</sub>O = 2.763 Kj/Kg

Temperature (T) = 149.26

## DATA PERHITUNGAN NERACA ENERGI

Tabel 2 Data Perhitungan Neraca Energi

DATA PERHITUNGAN KINERJA BOILER				
No	NAMA	Kg/Jam	Kj/Kg	%
B	NERACA ENERGI			
1	Panas Sensible (masuk) dari BB (HF)		199	
2	Panas Sensible udara kering (HDA)		1,34	
3	Panas Sensible kadar air dalam udara Pemb (HYA)		2,44	
4	Panas Sensible Udara pembakaran (HA)		71,1	
5	Panas sensible Residu (HR)		41,2	
6	Panas Sensible Flue Gas (HG)		1805	
C	Total Energi Input	25.246,87		
D	Total Energi Loses	7156,04		
E	Effisiensi			71,6



Tabel 3 Data Perhitungan Neraca Masa

DATA PERHITUNGAN KINERJA BOILER				
No	NAMA	Kg/Jam	Kj / Kg	%
A	NERACA MASA			
1	Kadar Air Dalam Bahan Bakar	0,1		
2	Kebutuhan Udara Kering			
	SA		3,24	
3	Excess Air (udara berlebih)			22
	CO <sub>2</sub>		51,1	
	SO <sub>2</sub>		33	
	O <sub>2</sub>		21,4	
	N <sub>2</sub>		84,4	
4	Komposisi O <sub>2</sub> dalam dry flue gas			7,26
5	Kebutuhan Udara Kering sebenarnya		3,96	
6	Kadar air Dalam udara pembakaran		0,04	
7	Total Masa Output	5,01		
8	Masa residu	0,018		
9	Flue gas (asap Cerobong)			
	CO <sub>2</sub>	22,48		
	H <sub>2</sub> O	0,521		
	SO <sub>2</sub>	0,22		
	O <sub>2</sub>	0,15		
	N <sub>2</sub>	2,88		
10	Total Masa Output	26,26		

## ANALISA DAN BAHASAN

Dari hasil perhitungan efisiensi boiler didapat adalah 71,6 %, hal ini mengalami penurunan kalau dilihat sejak di instal pada tahun 23 tahun atau setara 201480 jam operasi, design efisiensi boiler adalah sebesar 81,4 % dimana mengalami penurunan sebesar 9,8 % atau rata-rata penurunan 0,426 % pertahun.

Berdasarkan pengalaman boiler akan mengalami penurunan kinerja disebabkan oleh beberapa faktor antara lain:

1. Kualitas bahan bakar (*effect of fuel*) yang buruk, seperti kadar air (moisture Content) yang tinggi, dan komposisi seperti hydrogen dan lainnya.
2. Kualitas air pengisi boiler yang buruk seperti PH air yang rendah, hal ini bisa menyebabkan terjadinya pengotoran pipa /tube boiler hal ini akan menyebabkan proses perpindahan panas akan menjadi lebih lama.
3. Turunnya kinerja komponen pendukung boiler alat pembakar seperti *Burner* yang tidak membakar dengan sempurna, seperti sistem kontrol burner yang tidak stabil
4. Temperatur *make up water* yang rendah, hal ini akan menyebabkan temperatur air pengisi di *feed water tank* rendah sehingga membutuhkan banyak energi dalam proses pembakaran.

5. Kinerja feed water pump yang buruk, seperti putaran pompa menjadi tidak maksimal, seperti kopeling yang rusak, tidak aligment, hal ini akan mempengaruhi kurangnya *supply* air pengisi yang masuk ke boiler menjadi tidak maksimal.

6. Faktor kelebihan udara (*Excess Air*) ,pembakaran didalam sistem boiler selalu membutuhkan udara lebih dengan maksud untuk mencapai pembakaran sempurna.

7. Beban boiler (*Firing Rate*). Beban boiler yang berada dalam range efisiensi terbaik atau tertinggi adalah 70 % - 90% dari beban maksimum

8. Temperatur *Flue Gas*. Tingginya temperatur *flue gas* mengisyaratkan tingginya panas yang dibawa oleh flue gas, jelas ini merupakan suatu kerugian.

9. *Blow down water* adalah bisa menjadi salah satu faktor yang besar pengaruhnya terhadap efisiensi boiler. panas yang terbawah keluar oleh air blow down merupakan suatu kerugian.

10. *Power supply* ke sistem boiler yang tidak stabil. *Power house* / Generator set yang tidak siap operasi dan tidak handal / *reliability*.

11. Kualitas sumber daya manusia yang tidak disiplin dalam melakukan monitor terhadap kondisi boiler saat beroperasi.

## KESIMPULAN

Dari hasil bahasan di atas dapat disimpulkan bahwa, penurunan kinerja boiler di sebabkan oleh, kualitas bahan bakar yang buruk, kualitas air pengisi boiler yang jelek, turunnya kinerja burner boiler, rendahnya temperatur make up water, rendahnya kinerja komponen pendukung boiler seperti feed water pump, kualitas sdm yang rendah dan power supply yang tidak stabil

## SARAN

Agar kinerja boiler menjadi lebih baik disaran sebagai berikut :

1. Buat standar operating prosedur (SOP) dalam pengoperasian boiler
2. Tingkatkan kualitas SDM / upgrade kualitas SDM
3. Jaga Kualitas bahan bakar, air pengisi boiler, dan kualitas komponen pendukung operasional boiler.
4. Jaga Kualitas maker up water, untuk penghematan bahan bakar.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Christian Tallu Karaeng, Iswandi, Firman, Muh.Nuzul,(2013);Analisa Kinerja Boiler Pada PLTU Unit 1 PT.SEMEN TONASA.
- [2] Aditio Primayudi, Aji Nugroho (2015); Analisa Kehilangan Energi Pada Fire Tube Boiler Kapasitas 10 Ton.
- [3] Hendri,Suhengki,Panji Ramadhan (2017) : Analisa Effisiensi Boiler Dengan Metode Heat Loss Sebelum dan Sesudah Overhaul PT.Indonesia Power UBP PLTU Lontar Unit 3.
- [4] Alfi Astra Ryanda (2018); Analisis Effisiensi Paket Boiler 34-6007-U Pada Pabrik P-IB. PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang.
- [5] Singgih Hidayanto,(2016);Analisis Performa *Water Tube Boiler* Kapasitas 115 Ton /Jam Di PT.PERTAMINA REFINERY UNIT VI Balongan Indramayu.
- [6] Asmudi, ; Analisa Unjuk Kerja Boiler Terhadap Terhadap Penurunan Daya Pada PLTU. PT. Indonesia Power UBP Perak.
- [7] Power Boilers,A Guide to Section I of The ASME Boiler and Pressure Vessel Code by, Martin D,Bernstein,Foster Wheeler Energy Corporation Clinton, New Jersey and Lloyd W.Yoder Wadsorth,Ohio, ASME Press New York 1998.
- [8] Materi Pelajaran Kursus Operator Pesawat Uap Kelas 1, Diselenggarakan oleh ,Departemen Tenaga Kerja RI, Kantor Wilayah Propinsi Jawa Barat, Kantor Departemen Kodya/Kabupaten Bogor, Lembaga Pendidikan dan Latihan Industri, CV.Utama.No.2089 A/W9/K3/80/1991.
- [9] Ir.Johanes , UPT-LSDE.BPP Teknolog & PT.KONEBA 18-22 Februari 1991, Pelatihan Konservasi Energi, Perhitungan Efisiensi Boiler.
- [10]Ir. Parlindungan Marpaung, Pelatihan Konservasi Energi UPT-LSDE-BPP Teknologi & PT. KONEBA, 18 – 22 Februari 1991, Konservasi Energi Distribusi UAP.
- [11]Ir.MD.Husein, Pelatihan Konservasi Energi UPT-LSDE-BPP Teknologi & PT. KONEBA, 18 – 22 Februari 1991, Manajemen Industri dalam Indsutri.
- [12]Ir. Taufik Sastrainata, MSMI, Pelatihan Konservasi Energi UPT-LSDE-BPP Teknologi & PT. KONEBA, 18 – 22 Februari 1991, Teknik Audit Boiler.